

J. Biomed. Eng. Res.  
Vol. 20, No. 5, 633-641, 1999

## 두부 장착형 3차원 영상 표시장치에 의한 가상환경 노출이 인체에 미치는 가상환경 멀미의 평가

김동욱 · 김남균\* · 박광석\*\*

서남대학교 보건학부 의용공학과, \*전북대학교 공과대학 생체공학과,

\*\*서울대학교 의과대학 의공학교실

(1999년 4월 1일 접수, 1999년 7월 17일 채택)

## An Appraisalment of Cybersickness by Exposuring to Virtual Environment Using Head Mounted Display

D.W. Kim, N.G. Kim\* K.S. Park\*\*

Dept. of Biomedical Eng., College of Health Science, Seonam University

\*Dept. of Bionics, College of Engineering, Chonbuk National University

\*\*Dept. of Biomedical Eng., College of Medicine, Seoul National University

(Received April 1, 1999. Accepted July 17, 1999)

요 약 : 가상현실 기술의 발전 및 보급에 따라, 컴퓨터 게임을 비롯하여 의료분야에 이르기까지 다양한 장르에서 사용이 되고 있다. 이에 따라 일반적인 사람들의 경우도 가상환경을 손쉽게 체험할 수 있어, 가상환경 노출에 따른 인체의 영향을 심각히 고려해야할 상황에 와 있다.

따라서, 본 연구에서는 두부장착형 3차원 영상 표시장치에 의한 가상환경 노출이 인체에 미치는 영향 중 가상현실 멀미에 관한 연구 및, SSQ진사 및 신체동요도 측정을 통하여, 가상환경 멀미의 성량적으로 추정하는 연구를 수행하였다.

**Abstract :** Virtual reality (VR) technology is perceived as key technology in 1990's. This technology provides integrated information directly to human sensory organizations and enables one to experience active virtual environment. The HMD(Head Mounted Display) which offers visual information plays an important role in this technology. However, widely used virtual environment causes side effects like epilepsy, lack of equilibrium sensibility and cybersickness. Among these side effects, cybersickness is so prevalent that it could interrupt the development of VR technology. The confliction between human equilibrium organizations(visual and vestibular system informations) is regarded as cause for cybersickness. That confliction is the result of presentation of virtual reality to human sensory organization. In this research, we will present various patterns of virtual environment to subjects and then measure the SSQ(Simulator Sickness Questionnaire) and COP(Center of Pressure). Through analysis of these results, we will find how human equilibrium sense is affected by the confliction between visual and vestibular informations in virtual environment. Our research will be utilized as basic knowledge to reduce cybersickness.

**Key words :** Virtual reality, HMD, Cybersickness, SSQ test, Virtual environment, Center of pressure

### 서 론

본 연구는 : 한국과학재단 특정기초연구(과제번호:97-0403-0601-3) 및 김성공학 기반기술개발사업(과제번호: 98-G-17-01-A-04-01)의 지원에 의해 이루어진 것임.

통신저자 : 김 동욱, (590-711) 전북 남원시 광치동 720  
서남대학교 보건학부 의용공학과  
Tel. (0671)620-0108, Fax. (0671)620-0108  
E-mail : dwkim@tiger.seonam.ac.kr

가상현실 기술(Virtual Reality Technology)은 인공적으로 현실을 모의하여 체험하는 시스템으로 이에 대한 연구가 환기될 때기 시작하여 상당한 수준의 성과를 보이고 있으며, 컴퓨터 게임, 군사 훈련용 시뮬레이터를 비롯하여 최근에는 의료분야

에 까지 보급되어 가상 수술 시뮬레이션, 의학 교육 등의 분야에서 여러 형태의 “가상환경(virtual environment)”의 실용화가 시작되었다[1]. 신개단계의 건축·레이아웃의 3차원 표시 및 플랜트 운전·보수훈련, 수술 시뮬레이션 등의 산업분야 또는 오락분야의 체형 게임에서는 일반적인 사람도 가상환경을 체험할 수 있게 되어, 가상환경의 보급은 앞으로 여러 분야에서 급속하게 진전될 것은 틀림없는 사실이다.

이에 따라 어린이에서 고령자까지의 폭넓은 층에서 이용 가능한 가상환경이 요구되며, 안전성·쾌적성의 검토가 필요 불가결하게 되었다. 그러나, 현재의 상황은 인간의 특성에 대한 고려가 불충분한 가상환경이 대부분이기 때문에, 이것을 이용할 때 현실과는 전혀 다른 위화감을 느끼는 등, 시각 및 심신적인 피로를 느끼며 심한 경우에는 현기증이나 두통, 구토 등과 같은 “멀미”의 증상이 나타나고 있어 조급한 시일 내에 가상환경 멀미(cybersickness)에 대한 원인규명·대책 및 평가수법의 확립이 요망되고 있다[2].

그러나, 인공현실감 사용에 따른 부작용에 대하여 연구한 논문은 찾아보기 어렵다. 여기에는 다음과 같은 두 가지 정도의 이유를 들 수 있다. 첫째로는 인공현실감 기술의 사용에 따른 역작용의 예견이 아주 어렵다는 것이고, 둘째로는 공인된 기관에서 지정된 규정이나 조정기능이 없다는 것이다. 따라서, 인공현실감 기술의 본격적인 보급을 눈앞에 두고 있는 현시점에서, 인공현실감 사용에 따른 인체 영향(부작용)평가는 시급히 이루어져야 할 과제이다.

따라서, 본 연구에서는 최근 실용화가 진행되고 있는 가상현실기술을 사용함으로써 발생하리라고 예상되는 여러 가지 부작용 중 가장 빈번하고, 심각한 가상환경 멀미를 정량적으로 평가하기 위하여, 피험자를 가상현실공간에 노출시켰을 때 발생하는 가상환경 멀미를 정량적으로 측정하는 연구를 수행한다.

## 실험 방법

### 1 실험장치

본 연구를 위해서 필요한 실험장치는 크게 나누어 가상공간의 세시를 위해서 사용되는 가상환경 제시 시스템과 가상환경에 노출됨으로써 발생하는 가상환경 멀미를 정량적으로 측정하기 위한 방법이 필요하다. 이하 각각에 대하여 설명한다.

### 2. 가상환경 제시 시스템

최근의 컴퓨터 기술의 급격한 진보에 따라, PC를 베이스로 하는 리얼리티 엔진의 구축이 가능하여 PC를 기반으로 하는 가상공간 생성 시스템을 구축하였다. 본 연구에서 사용한 컴퓨터는 PentiumII 266 CPU를 탑재한 IBM-PC 호환기종으로서, 128MB의 RAM과 3-D가속 그래픽 카드가 장착된 PC이다. 그림 1에 가상환경 제시 시스템을 나타내었다.

가상환경 제시 시스템에서 생성한 가상 공간을 시각에 부여하는 방법으로는 몰입형의 HMD를 사용하였다. 본 HMD는 Virtual I·O사에서 개발한 i glasses로, 30도의 시각범위를 가

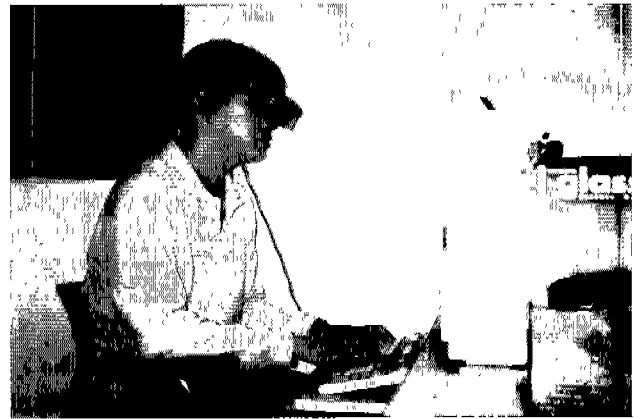


그림 1. 가상환경 제시 시스템  
Fig. 1. Virtual reality system

진 0.7인치 풀 칼라 LCD 두개로 구성되어 있으며, 각각의 LCD 패널은 180,000 픽셀의 해상도를 가지고 있다. 또한, 250 Hz의 샘플링속도를 가진 3차원 공간 추적기를 설치하여 머리 위치를 실시간으로 모니터링하여 가상공간을 생성시키는 가상환경 제시 시스템에 피드백 하여 가상공간 생성을 위한 데이터로 사용하고 있다.

가상환경 제시를 위하여 i-glasses와 호환성이 있는 컴퓨터 게임을 사용하였다. 게임은 사용법을 상대적으로 쉽게 익힐 수 있고, 복잡하지 않으며, 비폭력적이며 적당한 흥미를 유발시킬 수 있는 게임으로 선택하였다. 게임에서 움직임의 방향은 i-glasses에 장착된 공간추적기에 의해 제어될 수 있도록 하여, 피험자가 가상세계 수위탁 보기 위하여 그들의 머리를 움직여서 볼 수 있도록 하였으며, 피험자에게 가하는 음향 자극은 VR기술의 최대한의 잇점을 얻기 위해서 스테레오 모드의 음향 신호를 인가한다.

### 3. 가상환경 멀미의 정량적 측정

가상환경에 노출됨으로써 예견되는 영향(부작용)은 인체 평형기능에 미치는 영향, 시각 피로 및 자율신경 부조화에 따른 피로에 미치는 영향, 운동기능에 미치는 영향으로 크게 나눌 수 있다. 이 중에서도 특히 심각한 것은 인체의 평형 감각의 부조화에 의해 유발되는 가상환경 멀미라 할 수 있어 가상환경 멀미의 정량적 측정용 시도를 하였다.

멀미의 일반적인 증상은, 안면 창백, 식은 땀, 두통, 타액분비 증가, 구역질, 구토 등을 들 수 있으나, 이에 앞서 일어나는 가벼운 증상은 하품, 졸림, 피로감 등이 나타난다.

“멀미”의 원인에 대하여 여러 가지 학설이 있지만, 현재 “멀미”를 가장 잘 설명하고 있는 것으로는 “감각 불일치설(sensory conflict theory)”이었다(그림 2 참조)[3]. 이것은 과거의 경험에 의해 기억된 감각정보(전정, 시각, 체성감각)의 조합과 실제의 감각정보가 비교되어 기억에 의하여 예기되는 것과는 다른 조합의 감각정보가 입력되었을 때 “멀미”가 유발된다고 생각하는 것이다. 비교되는 감각 정보의 기억이 새로운 경험에

표 1. 각종 멀미의 분류

Table 1. Classification of sickness

종류	발병시의 상황/장면	영향의 주요인	이용자
동요병	배, 자동차, 열차, 비행기등	진동	일반
우주멀미	우주비행	중력의 결여	특수
시뮬레이터 멀미	조종훈련(전투기, 헬기), 기타 특수훈련	실제체험과의 불일치	약간 특수
가상환경 멀미	산업응용(게임, 설계, 발표 등) 의료응용(제활, 심리치료 등), 예술표현	실제체험/예측과의 불일치	거의 일반

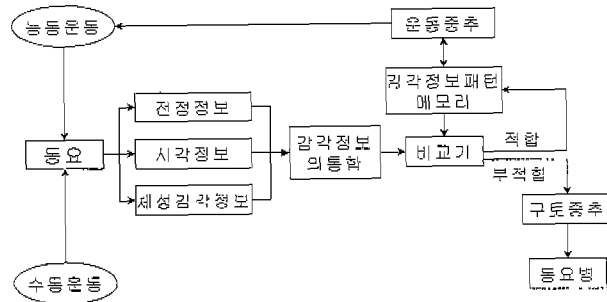


그림 2. 동요병에서의 감각 불일치설의 개념  
Fig. 2. A concept of sensory conflict theory in motion sickness

의해 갇힌다고 생각하는 것으로, 순용 및 하선병(下船病) 등을 설명할 수 있다.

표 1에 "멀미"의 종류와 발병시의 상황/장면, 영향을 미치는 주요 요인에 대하여 요약하였다. 단, "가상환경 멀미"는 가상환경을 이용하였을 때 발생하는 "멀미"를 지칭하고, "동요병"과 동질의 것은 포함하지 않는다고 정의하고 있다. 즉 비행 시뮬레이터를 이용하였을 때 멀미가 발생하였다고 하여도, 이것이 실물 비행기에서 일어나는 멀미와 동질의 것인 경우에는 "동요병"으로 분류한다[4].

동요병과 가상환경 멀미는 증상은 서로 유사하나 발병원인은 서로 다르다. 즉, 동요병은 특정한 운동에 의해 지체된 인간에게 나타나는 증상[5]으로, 동요병의 방병을 위해서는 반드시 운동이 존재하여야 한다. 그러나, 가상환경 멀미의 경우는, 인간은 다양한 감각을 통합하여 공간지각을 행하고 있음에도 불구하고, 현존하는 가상환경 시스템은 HMD등을 이용하여 시각기능에 과도하게(경우에 따라서는 전부) 의존하고 있는 일이 많기 때문에, 전정기관과 시각 사이에서 모순된 입력이 발생하게 되고, 이로 인하여 가상환경 멀미가 발생한다고 생각 된다.

4. SSQ 검사

가상공간에 노출됨으로써 발생하는 가상환경 멀미를 정량적으로 측정하기 위하여, 본 연구에서는 1993년 Kennedy등에 의하여 개발된 SSQ(Simulator Sickness Questionnaire) 검사법을 이용하였다[6].

SSQ검사는 표 2와 같은 16개의 항목 -인간적 불편함, 피로, 두통, 눈의 피로, 시야 초점 조절력 저하, 타액분비 증가, 반항,

네스꺼움, 집중력 저하, 머리가 쑤 찬 느낌, 흐릿한 시야, 현기증(개안시), 편기증(폐안시), 어지러움, 위가 더부룩함, 트립-에 대하여 증상의 정도별로 '전혀없음', '거의 없음', '조금 있음', '아주 심함'의 4단계로 나누어 체크 하도록 작성한 설문지이다. 이 설문지에서 얻은 16개의 항목을 4개의 심분 즉, "네스꺼움", "안구운동 불편", "방향각각 상실"등의 항목으로 분류하여 각각의 항목에 대하여 점수와 하여 가상환경 멀미의 정량적인 평가를 하였다. SSQ에 의한 평가법은 피험자가 주관적으로 느끼는 신체의 상태를 이용하여 간단히 측정할 수 있는 것이 특징으로, 가상환경 노출 직후의 측정값을 비교 분석함으로써 가상환경에 의한 가상환경 멀미를 정량적으로 평가할 수 있는 가능성이 있다.

5. 정적 자세안정도 측정 시스템

정적 자세안정도는 COP(Center of Pressure)측정에 의하여 신체 동요도를 평가한다. COP측정 장치는 그림 3과 같이 사각의 판의 4곳에 로드셀을 장착한 힘판을 이용하였다. 피험자가 힘판에 기립하였을 때, 피험자의 COP는 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 a_x &= a \cdot (F_{d1} + F_{d2} - F_{d3} - F_{d4}) / F \\
 a_y &= b \cdot (F_{d1} - F_{d2} - F_{d3} + F_{d4}) / F \\
 F &= F_{d1} + F_{d2} + F_{d3} + F_{d4}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기에서 F는 피험자의 몸무게에 상당하며,  $F_i(i=1,2,3,4)$ 는 각 로드셀에 걸리는 힘이다. a, b는 로드셀간의 가로, 세로 길이의 1/2에 상당하는 값이며,  $a_x, a_y$ 는 COP의 (x,y)좌표 값이다.

가상환경 노출 직후에 힘판에 올라가 폐안 상태에서 무릎과 무릎을 맞댄 Tandem Romberg stance상태로 똑바로 기립하도록 하여 30초간 데이터를 수집한다. 자세안정도 평가를 위하여, COP데이터는 실시간으로 컴퓨터에 저장하여, 신체 중심 동요도의 계산에 이용한다.

6. 실험 진행 방법

1) 실험환경 설정

가상환경에 노출되어 있는 동안에 연구 참여자는 의자에 앉도록 하며, 오른쪽에 조이스틱이 놓여있는 테이블을 설치하여 피험자가 그들의 사용에 가장 편리하게 테이블 위에 어디든지 조이스틱을 자유롭게 움직이게 할 수 있다. 실험 중, 피험자는 모니터보다 HMD에 더 몰입하게 하기 위해서 검은색 스크린을

표 2. SSQ 설문지의 가상환경 멀미 군 분류  
Table 2. Classification of cybersickness in SSQ test

No.	Symptom	Nausea	Oculomotor Discomfort	Disorientation
Q1	General Discomfort	✓	✓	
Q2	Fatigue		✓	
Q3	Headache		✓	
Q4	Eyestrain		✓	
Q5	Difficulty focusing		✓	✓
Q6	Increased salivation	✓		
Q7	Sweating	✓		
Q8	Nausea	✓		✓
Q9	Difficulty Concentrating	✓	✓	
Q10	Fullness of Head			✓
Q11	Blurred Vision		✓	✓
Q12	Dizzy(eyes open)			✓
Q13	Dizzy(eye closed)			✓
Q14	Vertigo			✓
Q15	Stomach Awareness	✓		
Q16	Burping	✓		
Σ		<1>	<2>	<3>

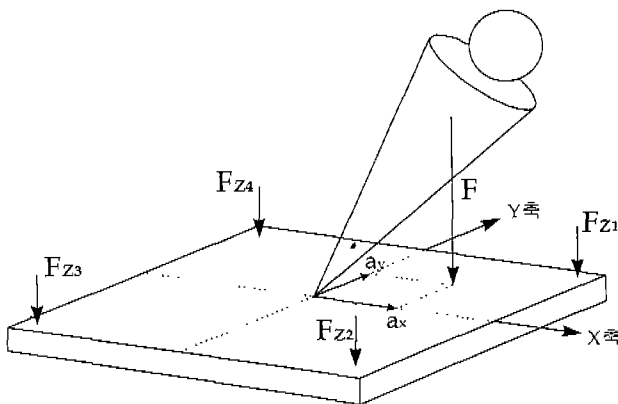


그림 3. COP측정을 위한 힘판  
Fig. 3. Force platform for measurement of COP

향하고 있도록 하며, 실험실의 조명은 실험 동안 HMD에 빛의 반사나 번쩍거림을 억제하기 위해서 실내 환경을 20 lx 정도로 어둡게 조명한다.

2) 피험자의 선정

피험자는 대학생들 대상으로 하였으며 신발에 있어서는 다음과 같은 기준을 고려하였다.

- ① 18세 이상이어야 할 것.
- ② 간질병의 경험이 없고 색맹이 아니어야 할 것.

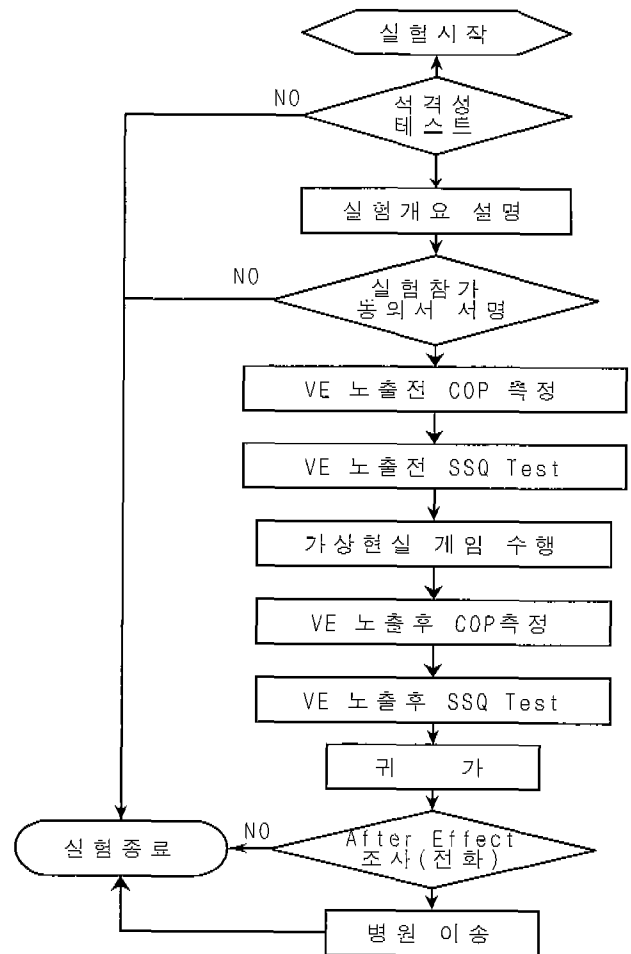


그림 4. 실험과정  
Fig. 4. Procedure of experiments

- (3) 과거 30일 동안에 가상현실이나 가상환경 시스템에 대한 경험이 없어야 할 것.
  - (4) 알코올이나, 신경제, 안정제, 소염제, 항히스타민제 등의 약은 복용하지 않았을 것.
  - (5) 양호한 건강 상태에 있을 것.
- 상기의 사항은 실험에 참가하기 전에 배포한 설문지를 통하여 확인하였다.

3) 실험의 진행과정

실험의 진행 과정은 그림 4에 나타난 과정을 통하도록 한다. 즉, 피험자가 실험에 참여하기 전에 실험 적합성 판정 설문(2.2.2절의 조건)을 수행하도록 하여 적절한 피험자를 스크리닝한다.

실험에 참가할 수 있는 적절한 피험자가 선택되면, 본 연구의 필요성 및 실험의 개요를 알도록 한 후 실험참가 동의서에 서명하도록 한다.

실험단계에 들어가서는 피험자에게 실험의 전 과정이 기록된 실험안내서를 알도록 하여 실험에 대한 사전 지식을 충분히 숙지하도록 한다. 가상환경에 돌입하기 전에 COP를 측정하고,

Pre SSQ Test Result Table

ID	Height	Gender	Age	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Nausea	Disorientation	Total	BodySway	
1	156	F	20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.48	3.4	
2	173	M	19	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.74	3.8	
3	153	F	21	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.58	0	3.71	3.2	
4	155	F	22	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.15	0	7.48	3.3	
5	165	F	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.8	
6	172	F	20	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.36	0	3.74	5.5	
7	168	M	21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.74	0	7.48	4.1	
8	175	M	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5	
9	177	M	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.8	
10	170	M	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2	
11	158	F	20	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.58	0	3.74	3.5
12	169	M	22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19.08	0	11.22	4.0	
13	161	F	22	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.54	7.58	13.92	11.22	4.3
14	165	F	21	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.58	0	13.92	7.48	4.1
15	160	M	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.92	0	3.74	3.7
16	173	M	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.8	
17	166	F	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.9	
18	177	M	28	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19.08	7.58	0	11.22	4.1
19	167	F	20	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.58	0	3.74	2.5
20	190	M	22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.74	7.58	0	7.48	2.7
21	179	M	23	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.58	0	3.74	2.7
22	175	M	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5	
23	155	F	22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.54	7.58	0	7.48	3.0
24	173	M	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2	
25	173	M	22	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.74	0	3.74	2.5	
Average																				3816	1861	1670	1338	3.12
SD																				6158	4310	4617	3845	0.897

그림 5. 가상환경 노출전의 SSQ 결과  
Fig. 5. SSQ results of pre-exposure virtual environments

Post SSQ Test Result Table

ID	Height	Gender	Age	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Nausea	Disorientation	Total	BodySway	
1	156	F	20	1	1	0	1	1	0	1	1	3	3	1	0	1	0	0	0	28.62	37.9	55.68	44.88	6.5
2	173	M	19	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.15	13.92	11.22	5.8
3	153	F	21	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.54	15.15	13.92	14.96	5.1
4	155	F	22	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	2	0	0	57.24	37.9	69.6	53.84	6.8
5	165	F	19	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.74	15.15	0	11.22	4.8
6	172	F	20	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19.08	13.10	0	14.96	4.7
7	168	M	21	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3.74	15.15	27.84	18.7	5.2
8	175	M	22	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3.74	0	41.76	14.96	5.8
9	177	M	23	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.74	7.58	0	7.48	4.0
10	170	M	24	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	19.36	15.15	0	14.96	5.5
11	158	F	20	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22.74	13.92	14.96	5.2
12	169	M	22	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28.62	7.58	0	14.96	5.8
13	160	F	22	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	38.16	15.15	83.52	44.88	7.2
14	165	F	21	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.15	13.92	11.22	5.3
15	168	M	23	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.58	27.84	11.22	5.1
16	173	M	30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19.08	7.58	13.92	14.96	5.2
17	166	F	21	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.74	15.15	12.92	14.96	4.8
18	177	M	28	2	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	46.32	41.32	99.6	53.84	6.3
19	162	F	20	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20.74	13.92	14.96	6.0
20	183	M	22	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19.08	7.58	0	11.22	5.5
21	178	M	25	0	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3.74	22.74	13.92	18.7	5.0
22	175	M	24	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3.74	7.58	13.92	11.22	5.3
23	153	F	22	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19.08	7.58	0	11.22	5.2
24	173	M	20	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.58	0	3.74	5.1
25	173	M	22	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.74	7.58	0	7.48	5.3
Average																				164.35	15.16	201.45	172.99	5.488
SD																				18.375	9.538	74.797	45.832	0.730
Woman Average																				15.673	11.57	15.933	16.023	5.471
SD																				19.302	7.734	20.325	11.333	0.610
Man Average																				17.345	19.694	25.303	23.461	5.801
SD																				18.033	9.781	28.737	17.477	0.819

그림 6. 가상환경 노출후의 SSQ 결과  
Fig. 6. SSQ results of post-exposure virtual environments

비리 준비한 SSQ 검사 용시를 배포하여, 가상환경 노출 전의 SSQ test를 실시한다.

가상환경인 3-D게임에 돌입하기 위하여 HMD를 장착하고 실험실의 조명을 어둡게 한 후, 게임을 실행 시켜, 실험 준비를 완료한다. 실험은 3-D게임을 가능한 한 계속하여 20분간 지

속하도록 하였다. 그러나, 실험 중 불편한 점을 느끼게 되면 바로 가상환경으로부터 빠지 나오도록 하고 지금까지 수행한 3-D게임 수행 시간을 기록하였다. 실험이 끝난 직후 다시 COP를 측정한다 뒤, SSQ검사 용지를 피험자에게 제시하여, 가상환경 노출 후 SSQ검사를 실시하도록 하였다. 가상환경 노출 후

표 3. VE환경 노출 전후의 SSQ 쌍체비교 t-test  
Table 3. Paired samples test of before and after SSQ score

	Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower				Upper
PreSSQ - PostSSQ	-14.94	13.93	2.79	-20.69	-9.19	-5.36	24	.000

표 4. 가상환경 노출 전후의 신체동요도  
Table 4. The body sway of before and after exposure

가상환경 노출 후	가상환경 노출 전	노출전후 비
5.49 cm <sup>2</sup> (SD=0.730)	3.12 cm <sup>2</sup> (SD=0.657)	1.76

- 메스꺼움 값 = <1> × 9.54 (2)
- 안구운동 불편 값 = <2> × 7.58 (3)
- 방향감각 상실 값 = <3> × 13.92 (4)
- 가상환경 멀미 값 = <1>+<2>+<3> × 3.74 (5)

한다. 가상환경 노출 전후에 실시한 SSQ검사의 결과를 그림 5 및 그림 6에 나타내었다.

가상환경 노출 전의 SSQ결과에 대하여 살펴보면, 피험자 25명중 17명의 피험자(68%)가 가상환경 노출전의 SSQ검사에서 한가지 이상의 증상을 보고 하였고, 그중 가장 많았던 증상은 '일반적인 불편함' 과 '피로'가 6명으로 같은 수를 나타내고 있었다. 또한 노출 전 SSQ검사에서 증상을 나타내지 않은 것은 '집중력 저하', '흐릿한 시야', '현기증(개안시)', '현기증(폐안시)', '어지러움', '트림' 등이었다. 이상적으로는 가상환경 노출 전의 피험자의 상태가 모두 동일 할 것이 요구되지만, 현실적으로는 이 요건을 충족시킬 수는 없었으며, 멀미에 관련된 연구를 하였던 기존의 연구자들의 경우에도 멀미상태 유발 전의 피험자 상태를 표준화 여부에 대해서는 분세삼시 않고 있다[7].

SSQ방법의 제안자인 R.S.Kennedy는 멀미와 관련이 있는 증상 16가지를 표 2와 같이 "메스꺼움", "안구운동 불편", "방향감각 상실"등의 3종류 항목으로 분류하여 각각의 항목에 대하여 식 (2), (3), (4), (5)를 이용하여 점수화 하여 시블레이터 멀미를 정량화 한바 있다. 본 연구에서도 이 방법을 이용하여 실험결과를 계산하여, 가상환경 노출 전후의 SSQ 값을 그림 7에 나타내었다.

그림 7에서 알 수 있듯이, 가상환경 노출 전후의 가상환경 멀미 값은 각각 4.34(SD=3.84), 19.3(SD=15.89)으로 가상환경 노출 후 가상환경 멀미가 크게 증가하는 것을 알 수 있었다. 마찬가지로, 메스꺼움 값의 경우는 3.82(SD=6.16), 16.41(SD=18.38), 안구운동 불편 값의 경우는 4.85(SD=4.31), 15.16(SD=9.54), 방향감각 상실 값의 경우는 1.67(SD=4.62), 20.04(SD=24.8)을 나타내어 4항목 모두에서 가상환경 노출 후의 값이 현저히 증가하는 것을 알 수 있었다. 이중에서도 특히 현저히 상승한 항목은 방향감각상실로, 가상환경 노출 전에 비하여 노출 후가 12배정도 높은 것으로 나타났다. 이 양상은 피험자의 실험후의 보고에서도 나타났었는데, 가상환경 이탈 후 상당한 어지러움증이 동반한다는 보고가 있었다. 이번 실험에 참가한 피험자의 경우는 가상환경 이탈 직후 느꼈던 어지러움 증은 가상환경 노출 후 20분 정도에서 소멸된다고 보고하고 있고, 귀가 후, 신화로 후유증을 조사하고, 그 후 2-3일정도의 경

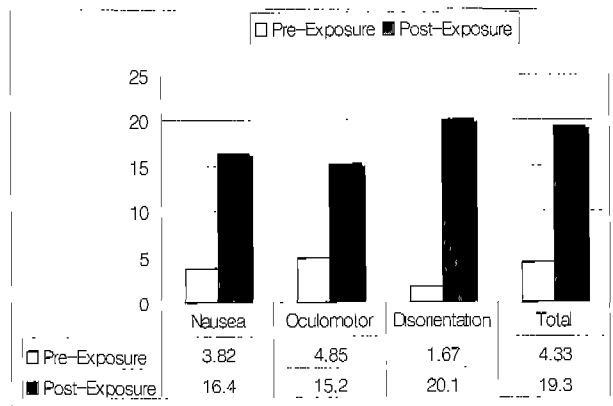


그림 7. 가상환경 노출 전후의 SSQ 값  
Fig. 7. SSQ score of before and after exposure

SSQ검사를 수행하는 동안은 피험자의 요청이 있을 경우는 청량음료를 제공하여 정신을 맑게 할 수 있도록 도와준다. 실험 실시 후 30분 정도 경과한 후 피험자 자신 스스로 귀가할 수 있다고 느끼는 경우에는 귀가하도록 지시한다. 만약 귀가 후 몸에 이상한 현상이 나타나면 바로 연락을 취하도록 지시하였으며, 실험 후 수 시간이 지난 후 피험자의 집에 전화를 하여 피험자의 상태를 조사하여 만약의 사태에 대비하도록 하였다. 후유증이 나타날 경우를 대비하여, 대학 근처의 종합병원 및 119구급센터에 사전에 협조관계를 요청하여 만일의 사태에 대비하도록 하였다.

실험 결과 및 고찰

실험에 참가한 대상은 대학 재학생을 대상으로 실시하였으며, 총 25명의 학생이 참가하였다. 성별로는 남자가 14명 여자가 11명이며, 평균 연령은 22세(표준편차=2.7)이다. 먼저, SSQ 검사 및 이의 분석을 통하여 가상환경 노출 전후의 값을 비교

표 5. VE환경 노출 전후의 신체동요도 쌍체비교 t-test

Table 5. Paired samples test of before and after bodysway

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
PreBodySway - PostBodySway	-2.36	.68	.14	-2.64	-2.08	-17.48	24	.00

표 6. 남녀 성별에 따른 SSQ값 독립 표본 t-test

Table 6. Independent samples test of man and woman's SSQ score

SCORE		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Equal variances assumed	Equal variances not assumed	2.48	.13	-1.17	23	.26	-7.39	6.35	-20.52	5.73
				-1.14	19.27	.27	-7.39	6.50	-20.99	6.20

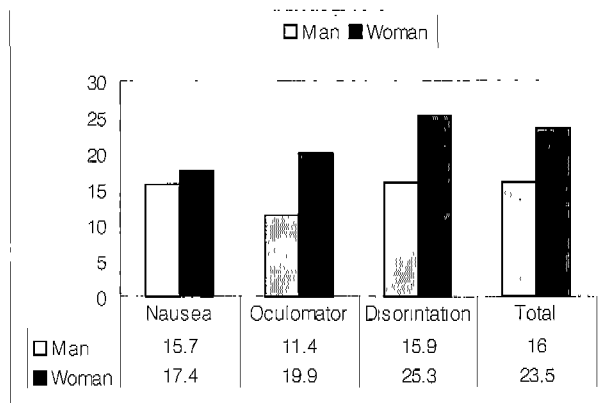


그림 8. 성별에 따른 SSQ 값  
Fig. 8. SSQ score of male and female

과를 살펴 보았을때도 피험자는 특별한 이상증세가 나타나지 않은 것으로 보아, 가상환경 노출에 의한 가상환경 멀미는 인과성의 증상을 알 수 있었다. 또한, SSQ설문지에 기재된 12가지의 증상 이외의 것이 나타났을 경우에는 기록하도록 지시하였으나, 특별한 증상을 기록한 피험자는 없었다.

본 실험 결과에 대하여 통계학적인 유의성을 검증하기 위하여 가상환경 노출 전후의 가상환경 멀미값에 대하여 통계 프로그램 'SPSS 8.0 for Windows'를 이용하여 쌍체비교 t-test를 실시한 결과를 표 3에 나타내었다. 표 3은 가상환경 노출전 SSQ와 가상환경 노출후 SSQ의 쌍의 차이를 나타내고 있는데, 자유도가 24이고, t값이 -5.364로 양측검정을 한 결과 0.000으로

유의 수준 0.05%이내에서 유의하다고 할 수 있다. 따라서, 가상환경 노출 전후의 SSQ값에는 유의한 차이가 있는 것을 알 수 있어, SSQ방법을 이용하여, 가상환경 노출 실험 후 있어서의 가상환경 멀미를 정량적으로 측정 할 수 있음을 알 수 있다.

또한, 설문조사를 통한 SSQ값과, 인체의 평형감각 평가를 위해서 사용하는 신체동요도 값과의 관계를 비교하기 위하여 가상환경 노출 전후의 신체동요도 값을 표 4에 나타내었다.

가상환경 노출 전후의 신체 동요도를 살펴보면, 가상환경 노출 후 신체동요도가 1.76배정도 증가한 것을 알 수 있다.

본 결과에 대하여 통계학적인 유의성을 검증하기 위하여 가상환경 노출 전후의 신체 동요도에 대하여 쌍체비교 t-test를 실시한 결과를 표 5에 나타내었다. 자유도가 24이고, t값이 17.477로 양측검정을 한 결과 0.000으로 유의 수준 0.05%이내에서 유의하다고 할 수 있다. 따라서, 가상환경 노출 전후의 신체 동요도는 유의한 차이가 있는 것을 알 수 있다. 이 결과는 설문조사에 의한, SSQ값과 생리적인 측정 방법인 신체동요도 측정이 같은 경향을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 신체 동요도는 상기한 바와 같이, 인체의 평형감각을 측정하기 위한 수단으로 자주 이용되는 것으로써 신체동요도가 증가하였다는 것은 인체의 평형감각이 저하하였다는 것을 의미한다. 따라서, 가상환경 멀미와 평형감각 실조는 서로 깊은 관련성을 지니고 있는 것을 확인 할 수 있다.

또한, 본 연구에서 SSQ 값을 “메스꺼움”, “안구운동 불편”, “방향감각 상실” 등의 3종류 항목으로 분류하여 점수화 한 값을 비교하면, 방향감각 상실 (D)>메스꺼움 성(N)>안구운동 불편 성(O)의 순서로 되어 있다. Kennedy, R.S.가 연구한 기준

의 결과를 보면, 우주멀미의 경우는  $O > D > N$ , 시뮬레이터 멀미의 경우는  $O > N > D$ , 매번기 및 비행기 멀미의 경우는  $N > D > O$  형태를 나타내고 있다[8]. 가상환경 멀미의 경우 다른 멀미와는 다르게 특징적으로 “방향감각 상실성”이 현저하게 큰 것으로 나타나 있다. 이 결과는, 본 연구에서 인가한 가상환경이 신체에 인가하는 운동감은 없이, HMD를 이용하여 시각에만 부여한 운동감 자극이 신체의 방향감각 상실을 초래할 위험이 있음을 나타내고 있다. 이는 가상환경 이탈 직후 보행시, 똑바로 걷지 못하고, 방향감각을 상실한 보행이 될 우려가 있어, 가상환경 멀미 외에 2차적인 사고의 위험성이 있다는 것을 나타내고 있어, 가상환경 제시 시 가상환경 멀미를 최소화시키는 기술을 시급히 개발하여야 할 필요성이 있다.

다음으로 피험자의 성별에 따른 가상환경 멀미의 민감도를 조사하기 위하여, 가상환경 노출 후의 SSQ결과치를 성별로 나누어 나타낸 그래프를 그림 8에 나타내었다.

그림 8에서 알 수 있듯이, 가상환경 노출후의 남성과 여성의 가상환경 멀미 값은 각각 16.03(SD=14.33), 23.46(SD=17.47)로 여성의 경우가 남성의 경우보다 약간 높은 값을 나타내었다. 마찬가지로, 메스꺼움 값의 경우는 15.67(SD=19.3), 17.35(SD=18.01), 안구운동 불편 값의 경우는 11.37(SD=7.72), 19.98(SD=9.75), 방향감각 상실 값의 경우는 15.91(SD=20.33), 25.31(SD=29.74)을 나타내고 있어 4항목 모두에서 여성이 남성보다 높은 값을 나타내고 있다.

본 결과에 대하여 통계학적인 유의성을 검증하기 위하여 남녀의 성별에 따른 SSQ값에 대하여 독립표본 t-test를 실시한 결과 표 6에 나타내었다. F값이 2.478이고, P값이 0.129로 0.05보다 크기 때문에 Equal함을 이용하여 해석한다. 분석결과 t값이 -1.165, 자유도가 23, 양측검정값이 0.256으로 유의수준 5%내에서 유의성이 없다. 가상환경 노출 후의 SSQ 평균값에는 남녀의 성별차이가 있었으나, 통계학적인 검증은 하였을 때는 유의성이 약한 것으로 나타났다. 그러나, Money, Biocca 등은 멀미에 대하여 여성이 남성보다 더 예민한 경향이 있다고 보고하고 있어[9-11], 향후 피험자수를 늘려가면서 자세히 해석할 필요가 있다.

이상과 같이 SSQ 검사를 이용하여 가상환경 멀미의 정량적인 측정을 수행을 검토한 바, 그 유효성을 확인할 수 있었다. 또한, 실험을 통하여 가상환경 멀미의 주요한 단기적인 증상은 동요멀미와 유사하여, 구토감, 메스꺼움, 안면 장백, 식은땀 등의 인과성의 증상이기 때문에 시간이 지남에 따라 자인적으로 소실되는 것을 알 수 있었다.

가상환경 멀미의 발생 원인은 실세계에 존재하는 공간과는 전혀 다른 공간인 가상환경에 노출된 인간은 가상환경에 적응하려는 노력을 하게 된다. 이때 가상환경과 실공간의 차이의 정도에 따라서 인간은 가상환경에 적응하기 위한 시간 및 노력에 차이가 발생한다. 즉 가상환경이 실제 공간의 환경과 차이가 많을수록 가상환경에 적응하기 위한 시간이 많이 걸리게 되며, 가상환경이 실제 공간의 환경과 차이가 적을 수록 가상환경에 적응하기 위한 시간이 적게 걸리게 된다. 가상환경에 적

용하는 시간 동안에는 대부분의 인간이 가상환경 멀미를 경험하게 되어, 가상환경 멀미의 정도를 결정짓는 주요한 원인중의 하나는 가상환경이 실제 환경에 얼마나 근접한가에 달려 있다. 감각정보처리 뿐만 아니고 운동특성도 가상환경에 적용되어야 하므로 가상환경 멀미는 인간의 감각시스템의 정보처리 과정에 의해서만 영향을 받는다고는 할 수 없다. 최근의 연구들에 의하면, 가상환경에서는 안구운동 및 자세제어능력도 영향을 받는다는 보고가 있다. 가상환경 멀미를 회피하기 위한 유일한 방법은 없으나, 운동판을 통하여 전정기관에 인공의 감각을 부여하는 것도 하나의 방법이라고 할 수 있지만, 이것 역시 전정 감각 및 시각각이 불일치하게 되면 오히려 가상환경 멀미를 가중시키는 결과가 될 수 있기 때문에 주의가 필요하다.

상기한 바와 같이 가상환경 멀미의 증상은 인과성이기 때문에 시간의 경과와 함께 증상이 소멸하는 것으로 되어 있지만, 가상환경에 장시간 노출이 계속 되면 상기한 일과성 증상 이외에도 평형감각의 부조화 또는 간질 등과 같은 심각한 질병을 유발할 수 있다. 일례로 일본의 경우에는 일반 공중과를 통하여 방영되고 있는 만화영화를 시청한 어린이들이 특정 장면(색깔의 변화가 너무 반복적인)에서 간질을 유발하여 전국적으로 수많은 어린이들이 간질병의 증세를 나타내어 입원을 하는 등의 소동이 있었으며[12], 컴퓨터 게임을 장시간 하는 청소년의 경우에도 간질과 유사한 증상을 나타내고 있는 등 인공적으로 생성한 그래픽 화면이 인체에 미치는 영향에 대해서 다수의 보고가 있다. 이와 같이 가상현실의 전 단계에 있는 기술을 이용함으로써 일어나는 피해에 따라, 본격적인 가상현실 기술이 보급되면 지금까지는 예상하지 못한 여러 부작용이 충분히 예견되고 있는 상황에서 가상환경 멀미의 예방적인 평가와 더불어, 가상환경 멀미의 방지 대책 마련이 시급하다고 생각된다.

## 결론

본 연구에서는 두부 장착형 3차원 영상 표시장치에 의한 가상환경 노출시 인체에 미치는 가상환경 멀미의 평가를 위하여 SSQ 검사법 및 신체동요도 측정을 통하여 가상환경 멀미의 정량적인 평가를 시도한 연구로서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 가상환경 노출에 따라 SSQ값 및 신체 동요도는 서로 통계학적인 유의성을 가지고 증가하는 것으로 나타났다.
2. SSQ값 및 신체 동요도 측정 결과로 비추어, 가상환경 노출이 인체의 평형감각에 이상을 유도하고, 이로 인하여 가상환경 멀미가 유발되는 것을 알 수 있었다.
3. 가상환경 멀미에 기인한 SSQ값은 다른 형태의 멀미와는 다르게 방향감각 상실성 값이 현저히 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. Pinciroli F, Valenza P, "An inventory of computer



- resources for the medical application of virtual reality*", Comput Biol Med, Vol.25 No.2, pp.115-25, 1995
2. Knerr, B.W., lampton, D.R., Bliss, J.P., Moshell, J.M., & Blau, B.S., "Human performance in virtual environments: initial experiments", Proceeding of the 29th International Applied Military Psychology Symposium, Wolfson College, Cambridge, UK, 1993
  3. 武山憲昭, "動搖病と嘔吐のメカニズム", 耳鼻臨床, 補41, pp.197-207, 1991
  4. Chizuru Nakagawa, Meiko Ohsuga, "The presents situation of the studies in VE-Sickness and its close field", Transactions of the Virtual Reality Society of Japan, Vol.3, No.2, pp.31-40, 1998
  5. Tyler, D. B. & Bard, P., "Motion sickness", Physiological Review, Vol.29, No.10, pp.311-369, 1949
  6. Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilenthal, M. G., "A simulator sickness questionnaire (SSQ): A new method for quantifying simulator sickness", International Journal of Aviation Psychology, Vol.3, No.3, pp.203-220, 1993
  7. Ehrlich, J., Singer, M. J., & Cinq-Mars, S., "Stereoscopic and Monoscopic Displays in Virtual Environments (ARI Technical Report)", U.S. Army Research Institute for the behavioral and Social Sciences, Alexandria, VA.
  8. Kennedy, R.S., Lane, N.E., Lilenthal, M.G., Berbaum, K.S., and Hettinger, L.J., "Profile analysis of simulator sickness symptoms : Applications to virtual reality systems", Presence, Vol.1, No.3, pp.295-301, 1992
  9. Money, K. E., "Motion sickness", Physiological Reviews, Vol.50, No.1, pp.1-39, 1970
  10. Biocca, F., "Will simulation sickness slow down the diffusion of virtual environment technology?", Presence, Vol.1, No.3, pp.334-343, 1992
  11. Kennedy, R.S., Lanham, D.S., Massey, C.J., Drexler, J.M., & Lilenthal, M.G., "Gender differences in simulator sickness incidence: Implications for military virtual reality systems", Safe Journal, Vol.25, No.1, pp.69-76, 1995
  12. <http://www.3d-humanfactors.ne.jp/jp/pokemon/index.html>